6-姜酚与 6-姜酚肟抗氧化性质的比较研究

鲁昊浩，焦睿，黄雪松，晏日安

（暨南大学理工学院食品科学与工程系，广东广州 510632）

摘要：为比较姜酚及姜酚肟的抗氧化性质，以姜油树脂为原料，用真空层析等方法分离纯化得到高纯度姜酚，并通过肟化反应制得化学性质更加稳定的姜酚肟。对比不同浓度姜酚、姜酚肟、BHT 和 VE 的还原力、清除 DPPH 与羟基自由基能力及抗油脂氧化能力。结果表明：在浓度为 0.2~0.8 g/L 时，姜酚肟的还原力（吸光度值：0.23~0.37）低于姜酚（0.52~1.11）高于 VE（0.19~0.29），姜酚肟对 DPPH 和羟基自由基的清除率分别为 75~89%和 37~62%，低于姜酚和 BHT，但与 VE 无显著差异。在浓度为 50~250 mg/kg 时，姜酚肟对花生油和葵花籽油的氧化诱导时间分别为 3.39~3.57 h 和 1.71~2.07 h，虽均低于姜酚（3.57~3.83 h 和 1.90~2.16 h），但明显高于 VE（3.06~3.49 h 和 1.53~1.93 h）。综上所述，这四者的抗氧化能力大小排序为 V_E≤姜酚肟<姜酚≤BHT，姜酚和姜酚肟均有较好的抗氧化能力，由于姜酚肟化学性质较姜酚更加稳定，使其在抗油脂氧化方面更具潜力。

关键词：姜酚；姜酚肟；抗氧化性

文章篇号：1673-9078(2015)9-106-111 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.9.018

Comparison of the Antioxidant Activities between 6-Gingerol Oxime and 6-Gingerol

LU Hao-hao, JIAO Rui, HUANG Xue-song, YAN Ri-an

(Department of Food Science and Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: The antioxidant activities of gingerol and gingerol oxime rom ginger oleoresin were compared. Gingerol was purified by vacuum column chromatography and gingerol oxime was prepared via oximation reaction The antioxidant activities of different concentrations of gingerol, gingerol oxime, butylated hydroxytoluene (BHT), and VE were compared through the analysis of reducing power, the scavenging capacities on 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) and hydroxyl radicals, and the oil stability index. In the concentration range of 0.2~0.8 g/L, the reducing power of gingerol oxime (absorbance value: 0.23~0.37) was lower than that of gingerol (0.52~1.11) and higher than that of VE (0.19~0.29). The DPPH and hydroxyl radical scavenging activities of gingerol oxime were 75~89% and 37~62%, respectively, which were lower than those of gingerol and BHT but similar to those of VE. In the concentration range of 50~250 mg/kg, the oxidative induction time of gingerol oxime in peanut and sunflower seed oil were 3.39~3.57 and 1.71~2.07 h, respectively, shorter than those of gingerol (3.57~3.83 and 1.90~2.16 h) but significantly longer than those of VE (3.06~3.49 and 1.53~1.93 h). In conclusion, the antioxidant activities of these four compounds were in the following order: VE≤ gingerol oxime < gingerol ≤ BHT. Gingerol and gingerol oxime are both excellent antioxidants. However, since gingerol oxime is more chemically stable than gingerol, which has greater potential as an antioxidant for edible oil.

Key words: gingerol oxime; gingerol; antioxidant activity

姜酚为有 β-羟基酮结构的烷基链同系物组成的酚类化合物，是姜中的主要呈味物质和生物活性成分[1]。组成姜酚的同系物主要有：6-姜酚，8-姜酚和 10-姜酚等。几种同系物中，6-姜酚的含量最多，8-姜酚和 10-姜酚相对较少（如图 1）。姜酚是良好的抗氧化剂。但由于酚羟基的不稳定性，姜酚在储存和加工的过程中易变质，降解成为姜油酮和脂肪醛。针对上述问题，黄雪松[2]等利用肟化反应，制得姜酚的衍生物-姜酚肟。姜酚肟为白色针状晶体，化学性质稳定，不易降解。姜酚肟不仅可用作测定姜及其制品中的姜酚[3]，而且具有良好的抗氧化性[4]；但比较两者抗氧化能力的大小，未见文献予以报道。

羟基自由基可以引起细胞膜损伤，并形成交联键，降低酶的活性，从而导致各种疾病发生并加速人体衰老。因此可以以羟基自由基清除率为基准，评价抗氧化剂抗自由基的能力。DPPH 是一种很稳定的以

收稿日期：2015-03-24

基金项目：国家自然科学基金资助项目（31401502、31471595）；国家质检总局项目（2013QK276）

作者简介：鲁昊浩（1987-），女，硕士研究生，研究方向：食品添加剂的制备与应用

通讯作者：焦睿（1984-），女，博士，副研究员，研究方向：功能食品

氮为中心的自由基，也常用于抗氧化剂的体外抗氧化性评价。当有抗氧化剂存在时，由于抗氧化剂与 DPPH 的单电子配对而使其在 517 nm 处的强吸收逐渐变弱，其褪色程度与其接受的电子数量成定量关系，因此通常使用分光光度计定量分析其对 DPPH 自由基的清除率。

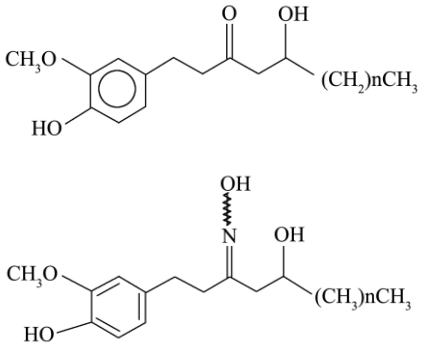


图 1 姜酚（上），姜酚肟（下）的结构式

Fig.1 Molecular structures of gingerol and gingerol oxime

油脂的氧化是食用油脂酸败的主要原因。由于 BHT 和 BHA 等合成抗氧化剂具有热稳定性好、价格低廉及抗氧化效果良好的优点，至今仍然被广泛应用于食用油的加工和保存领域。但是，已有研究显示这些合成抗氧化剂在剂量超过规定范围时，具有细胞毒性、致癌等对人体的不良影响[5]。因此，随着人们对合成抗氧化剂危害的日益了解，天然抗氧剂的开发变得更为迫切。

本文主要从姜酚和姜酚肟的还原力、清除自由基能力和抗油脂氧化等方面对比姜酚和姜酚肟的抗氧化能力，并以抗氧化剂 BHT 和 VE 作为参照对比。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

姜酚树脂是通过超临界二氧化碳提取，购自芜湖杉杉集团；BHT 为分析纯，购自上海源叶生物有限公司；乙醇、乙醚、正己烷、磷酸、三氯乙酸、三氯化铁、硫酸亚铁均为分析纯，购自天津市富宇精细化工有限公司；花生油、葵花籽购自益海（广州）粮油工业有限公司；乙酸铵、盐酸羟胺为分析纯，购自广州化学试剂厂；无水硫酸钠为分析纯，购自天津市福晨化学试剂厂；DPPH 购自阿法埃莎(天津)化学有限公司；邻二氮菲购自天津市天新精细化工开发中心；硅胶粉、层析硅胶薄板购自青岛海洋化工厂分厂。

低速离心机（上海安亭科学仪器厂）；磁力搅拌器（巩义市予华仪器有限责任公司）；旋转蒸发仪（上海嘉鹏科技有限公司）；干燥箱（上海一恒科学仪器有限公司）；电热数字显示恒温水浴锅（上海金忠科学仪器有限公司）；紫外分光光度计（Thermo Spectronic 公司），规格为 Unicam UV500；油脂氧化稳定性测定仪（瑞士万通 Metrohm 公司）；液相色谱仪（Agilent 1100 高箱液相色谱仪）；实验过程中所用容器或器皿均为玻璃材质。

1.2 实验方法

1.2.1 姜酚及姜酚肟的制备[2]

（1）姜酚的制备

称取姜酚粗提物 20 g 于 200 mL 烧杯中，以 1:1 的料液比加入 50%乙醇混合均匀。用低速离心机以 2000 r/min 离心 6 min，取其上清液，重复离心 3 次。挥干乙醇。以 1:1 的比例加入乙醚，混合均匀后静置得到姜酚提取物的乙醚溶液。用无水硫酸钠脱水后，加入 25 g 硅胶粉搅拌均匀，旋蒸除去乙醚，得拌样硅胶。采用干法装柱，并用真空层析的方法，按梯度洗脱，用 TLC 法检测洗脱液中的姜酚。将样品置于通风橱中，挥发得到黄色油状物。

（2）姜酚肟的制备

羰基化试剂反应：在姜酚粗提物中加入 5.5 g 醋酸铵以维持体系的 pH 值适合肟化反应的进行。混合均匀后，加入 2.7 g 盐酸羟胺，用磁力搅拌器在室温下搅拌使其进行肟化反应，约 2 h 后，用 TLC 法跟踪反应是否完全。其余步骤与 1.2.1(1)所示相同。将样品置于通风橱中，挥干溶剂后得到白色晶体。

1.2.2 HPLC 分析

采用 HPLC 的方法分析检测获得的姜酚及姜酚肟提取物的纯度[6]。采用 C_{18} 柱（250 mm×4.6 mm, 5 μm），在 25 ℃的条件下，用乙腈和水的混合液作为流动相以 1 mL/min 的速度进行梯度洗脱。检测波长为 280 nm。洗脱过程中，乙腈与水的比例：0 min 时，45：55；8 min 时，50:50；15 min 时，55:45；40 min 时，90：10；45 min 时，45:55。

1.2.3 抗氧化性的测定

（1）还原能力

先将姜酚及姜酚肟样品配置成一定质量浓度的样品溶液。将 2.5 mL pH=6.6 的磷酸缓冲液与 2.5 mL 1%的铁氰化钾溶液混合置于离心管中。取 0.5 mL 样品溶液加入到上述混合溶液中，混合均匀，在 50 ℃的温度下水浴加热 20 min。快速冷却，加入 2.5 mL 10%的三氯乙酸溶液。将获得溶液置于离心机中，以 2000 r/min 的转速，离心 10 min。以无水乙醇调零，用紫外分光光度计检测离心获得的上清液在 700 nm 处的吸光度值。在 700 nm 处吸光度值越高，样品的

还原力越强。

（2）DPPH 自由基清除能力[7,8]

准确称取 20 mg DPPH，用无水乙醇定容于 250 mL 的容量瓶中，得到浓度为 0.2 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液，在 0~4 ℃的条件下避光保存。分别吸取不同浓度姜酚及姜酚肟样品的乙醇溶液 2 mL，加入 2 mL 的 DPPH 乙醇溶液，混合均匀后，在室温下避光放置 30 min。以无水乙醇调零，用紫外分光光度计测定不同浓度的样品在 517 nm 处的吸光度值。再测定 2 mL DPPH 溶液与 2 mL 无水乙醇在 517 nm 处的吸光度值[9,10]。

DPPH 自由基清除率（%）=（A_{DPPH}-$A_{样品}$）/A_{DPPH} ×100%

（3）羟基自由基清除能力

称取 0.15 g 邻二氮菲，用少量无水乙醇使其完全溶解，再用蒸馏水将其定容至 100 mL，配制得到 0.75 mmol/L 邻二氮菲无水乙醇溶液。取 1 mL 邻二氮菲乙醇溶液，加入 2 mL 0.20 mmol/L 的 pH=7.4 的磷酸盐缓冲液。混合均匀后，加入 0.75 mmol/L 硫酸亚铁溶液 1 mL，立即混匀。加入 1 mL 不同浓度的姜酚及姜酚肟样品（样品）或蒸馏水（对照），最后加入 0.01% H_2O_2 溶液。将混合溶液在 37 ℃水浴锅中保温 1 h。以无水乙醇调零，用紫外分光光度计测定反应液在 536 nm 处的吸光度。空白对照不加 0.01%H_2O_2 溶液，以蒸馏水补充体积。

羟基自由基清除率（%）=（$A_{536\,处理}$-$A_{536\,对照}$）/（$A_{536\,空白对照}$-$A_{536\,对照}$）×100%

（4）Rancimat 法测定油脂氧化诱导时间

精确称取一定量的姜酚及姜酚肟样品加入花生油和葵花籽油中，50 ℃ 水浴加热使其溶解，搅拌均匀后，取 3 g 油脂加入样品管中。Rancimat 法通过通入空气使油样加速氧化分解为挥发性的小分子如醛、酮等，并将这些小分子导入装有蒸馏水的反应容器中，通过记录反应容器中的电导率变化，得到诱导时间[11]。油样的抗氧化性的强弱由诱导时间的长短为基准进行衡量。诱导时间越长，抗氧化性越强。本实验采用的反应条件为：120 ℃，空气流速为 10 L/h。

1.2.4 数据分析与统计

本文数据均按照“平均值±标准差”的方式表示，重复样本数为 n=3。采用一维方差分析的方法（One-way ANOVA），对相同浓度的姜酚、姜酚肟、BHT 和 V_E 的还原力、DPPH 清除率、羟基自由基清除率和油脂氧化诱导时间进行比较。数据根据其差异的显著性（p<0.05）用不同的字母（a~d）进行区别。

2 结果与讨论

2.1 HPLC 分析

2.1.1 姜酚的纯度[12]

姜酚提取物的纯度如图 1 所示，6-姜酚是姜酚提取物的主要组成部分，在保留时间为 15.34 min 时出峰，浓度为 77.85%。另外，8-姜酚和 10-姜酚分别在保留时间为 21.01 min 和 25.77 min 处出峰，浓度为 8.12% 和 2.78%。

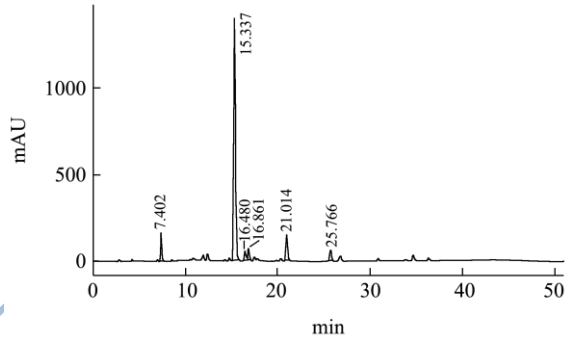


图 2 提取姜酚的 HPLC 分析图

Fig.2 HPLC chromatogram of extracted gingerol

2.1.2 姜酚肟的纯度

姜酚肟的提取物的纯度如图 2 所示，6-姜酚肟是其主要组成部分，在保留时间为 11.17 min 时出峰，浓度为 85.02%。另外，8-姜酚肟和 10-姜酚肟分别在保留时间为 20.59 min 和 30.14 min 处出峰，浓度为 8.64% 和 6.34%。

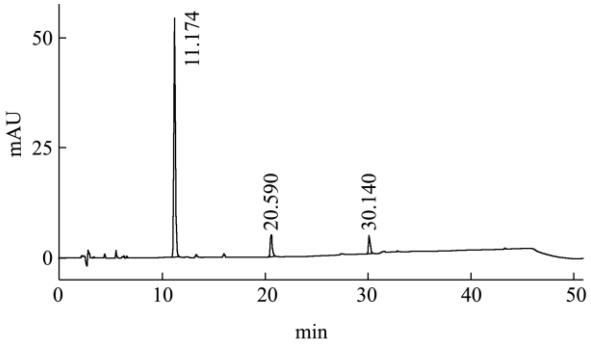


图 3 提取姜酚肟的 HPLC 分析图

Fig.3 HPLC chromatogram of extracted gingerol oxime

2.1.3 姜酚及姜酚肟的得率

按照本文的方法与步骤，每次取 20 g 姜酚树脂可得约 5g 高纯度的姜酚，依据上述 HPLC 分析图的姜酚纯度计算可以得到获得纯姜酚为 4.44 g（包括 6-姜酚、8-姜酚和 10-姜酚），姜酚的得率为 22.22%。而每 20 g 姜酚树脂经过肟化反应和分离纯化，可得约 3.5 g

姜酚肟（姜酚肟为白色晶体纯品），姜酚肟的得率为17.50%。

2.2 抗氧化性比较

2.2.1 还原能力比较

通过紫外分光光度计法测定不同浓度的姜酚及姜酚肟的抗氧化活性的强弱，并用抗氧化剂 BHT 和 VE 作为对照，分析结果如表 1 所示。

表 1 姜酚，姜酚肟等还原力的比较

Table 1 Reducing powers of gingerol, gingerol oxime, BHT, and VE

抗氧化剂浓度/(g/L)	还原力（700nm 处的吸光度值）				
	姜酚	姜酚肟	BHT	VE	空白对照
0.2	0.52±0.01^{b}	0.23±0.00^{c}	0.54±0.01^{a}	0.19±0.05^{d}	0.18±0.00
0.4	0.71±0.03^{b}	0.29±0.00^{c}	0.91±0.01^{a}	0.21±0.00^{d}	
0.6	0.86±0.05^{b}	0.33±0.01^{c}	1.24±0.03^{a}	0.25±0.01^{d}	
0.8	1.11±0.06^{b}	0.37±0.00^{c}	1.44±0.03^{a}	0.29±0.01^{d}	

由表 1 可知，随抗氧化剂浓度的递增，姜酚、姜酚肟、BHT 和 VE 的吸光度值都有显著提升。即在质量浓度为 0.2~0.8 g/L 的范围内，姜酚、姜酚肟、BHT 和 VE 的还原力均随其浓度的增加而显著增大，其中 BHT 的还原力最强，姜酚其次。这四者之中，VE 的还原力最弱。可能由于姜酚的酚羟基所处的空间结构比姜酚肟更易于为活泼的自由基提供电子，姜酚与姜酚肟相比，有较强的还原力。姜酚肟的还原力强于 VE，弱于 BHT 和姜酚。从表 1 可以看出，姜酚与 BHT 的还原力在抗氧化剂浓度为 0.2 g/L 时极为接近，而随着浓度的增加，姜酚的还原力的增长速度略微慢于 BHT。从还原力的角度分析，姜酚肟的还原力相对于姜酚与 BHT 来说较弱，随姜酚肟的浓度增加，其还原力的增大的速度也略慢。四种抗氧化剂在相同的质量浓度下，还原力大小为：VE<姜酚肟<姜酚<BHT。

2.2.2 DPPH 自由基清除能力比较

通过检测姜酚及姜酚肟对 DPPH 自由基的清除能力，对其抗氧化能力的强弱进行分析，以抗氧化剂 BHT 和 VE 作为对照，其结果如表 2 所示。

表 2 姜酚，姜酚肟等 DPPH 自由基清除率的比较

Table 2 Comparison of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) scavenging activities for gingerol, gingerol oxime, BHT, and VE

抗氧化剂浓度/(g/L)	DPPH 自由基清除率/%				
	姜酚	姜酚肟	BHT	VE	空白对照
0.2	92.92±0.07^{a}	75.51±0.17^{b}	92.98±0.17^{a}	70.92±0.27^{c}	0.00±0.04
0.4	93.31±0.12^{a}	84.55±0.12^{b}	93.54±0.10^{a}	83.96±0.73^{b}	
0.6	94.01±0.03^{a}	87.78±0.07^{b}	94.26±0.07^{a}	86.09±0.25^{c}	
0.8	95.17±0.17^{a}	89.45±0.17^{b}	95.25±0.03^{a}	89.40±0.33^{b}	

如表 2 所示，在实验所示的浓度范围内，随抗氧化剂浓度的增加，姜酚、姜酚肟、BHT 和 VE 对 DPPH 自由基的清除率增大。其中 BHT 与姜酚对 DPPH 自由基的清除率都要明显强于姜酚肟和 VE。从表 2 可以看出，姜酚与 BHT 对 DPPH 自由基的清除率在抗氧化剂浓度为 0.2 g/L 至 0.8 g/L 的范围内极为接近，无显著差异。而随着浓度的增加，姜酚与 BHT 对 DPPH 自由基的清除率的增长速度较为平缓，均在 92.90%至 95.30%的范围内。而姜酚肟和 VE 对 DPPH 自由基的清除率随浓度的增大而显著变大。在浓度为 0.2 g/L 至 0.4 g/L 时，姜酚肟对 DPPH 自由基的清除率的增强速度最为显著；随浓度增大，其对 DPPH 自由基的清除率的增加速度变缓。柳乃奎等[4]曾研究了姜酮、脱氢姜酮和姜酚肟对超氧阴离子和 DPPH 的清除作用，也发现姜酚肟较前两者清除能力较弱。这可能是由于虽然姜酚和姜酚肟中的酚羟基都可以进行脱氢反应，进而生成半醌自由基，最终生成稳定性高的联苯酚，使链式反应中断，但姜酚的酚羟基的空间结构与姜酚肟相比更易发生脱氢反应。四种抗氧化剂在相同的质量浓度下，DPPH 自由基清除率为：VE<姜酚肟<姜酚=BHT。

2.2.3 羟基自由基清除能力比较

检测姜酚及姜酚肟的羟基自由基清除率，进而判断其抗氧化能力。以抗氧化剂 BHT 和 VE 作为对照，分析结果如表 3 所示。

由表 3 可知，随抗氧化剂浓度的增加，姜酚、姜酚肟、VE 和 BHT 对羟基自由基清除率都有显著提升，其中 BHT 对羟基自由基的清除能力最强，姜酚其次，姜酚肟和 VE 对羟基自由基的清除能力相对较弱。在实验浓度范围内，姜酚肟与 VE 的羟基自由基清除率

接近，没有显著差异。在 0.2 g/L~0.6 g/L 的浓度范围内，姜酚的羟基自由基清除率明显小于 BHT，大于姜酚肟和 VE；在 0.6 g/L~0.8 g/L 的范围内，姜酚与 BHT 的羟基自由基清除率接近，无显著差异。在实验浓度范围内，四种抗氧化剂的羟基自由基清除率的大小为：VE=姜酚肟<姜酚<BHT。

表 3 姜酚，姜酚肟等羟基自由基清除率的比较

Table 3 Comparison of hydroxyl radical scavenging activities for gingerol, gingerol oxime, BHT, and VE

抗氧化剂浓度/(g/L)	羟基自由基清除率/%				
	姜酚	姜酚肟	BHT	VE	空白对照
0.2	52.78±4.80^{b}	37.88±3.19^{c}	91.05±0.12^{a}	36.48±1.09^{c}	0.00±13.61
0.4	66.67±6.67^{b}	43.75±6.25^{c}	94.23±5.11^{a}	41.98±5.66^{c}	
0.6	71.74±7.84^{b}	55.56±11.12^{c}	95.64±3.37^{a}	52.14±5.34^{c}	
0.8	90.97±7.31^{a}	61.11±9.62^{b}	97.11±0.63^{a}	55.79±3.32^{b}	

表 4 姜酚，姜酚肟等在花生油中反应时间的比较

Table 4 Comparison of reaction times of gingerol, gingerol oxime, BHT ,and VE in peanut oil

抗氧化剂浓度/(mg/kg)	花生油的氧化诱导时间/h				
	姜酚	姜酚肟	BHT	VE	空白对照
50	3.57±0.03^{a}	3.39±0.03^{b}	3.55±0.06^{a}	3.06±0.05^{e}	3.01±0.01
100	3.67±0.02^{b}	3.42±0.02^{c}	3.89±0.04^{a}	3.11±0.04^{d}	
150	3.73±0.03^{b}	3.45±0.02^{c}	4.14±0.03^{a}	3.38±0.02^{d}	
200	3.79±0.03^{b}	3.50±0.02^{c}	4.26±0.03^{a}	3.38±0.02^{d}	
250	3.83±0.03^{b}	3.57±0.05^{c}	4.37±0.08^{a}	3.49±0.03^{c}	

表 5 姜酚，姜酚肟等在葵花籽油中反应时间的比较

Table 5 Comparison of reaction times of gingerol, gingerol oxime, BHT, and VE in sunflower seed oils

抗氧化剂浓度/(mg/kg)	葵花籽油的氧化诱导时间/h				
	姜酚	姜酚肟	BHT	VE	空白对照
50	1.93±0.06^{a}	1.71±0.03^{b}	1.90±0.02^{a}	1.53±0.03^{c}	1.48±0.00
100	2.02±0.01^{a}	1.76±0.02^{c}	1.97±0.04^{b}	1.56±0.01^{d}	
150	2.06±0.02^{a}	1.77±0.01^{b}	2.06±0.01^{a}	1.60±0.03^{c}	
200	2.11±0.02^{a}	1.90±0.02^{b}	2.12±0.01^{a}	1.72±0.03^{c}	
250	2.16±0.03^{a}	2.07±0.01^{b}	2.16±0.01^{a}	1.93±0.03^{c}	

2.2.4 油脂样品诱导氧化时间比较

采用 Rancimat 法对姜酚及姜酚肟在花生油和葵花籽油中的抗氧化性进行检测。对反应时间的测量结果如表 4、表 5 所示。本实验的重复实验为 3 次。

由表 4 可知，在实验浓度范围内，随抗氧化剂浓度的递增，姜酚、姜酚肟、BHT 和 VE 在花生油中的氧化诱导时间都有显著延长，其中 BHT 的氧化诱导时间最长，姜酚其次，姜酚肟再次，VE 最短。在浓度为 50 mg/kg 时，姜酚与 BHT 的氧化诱导时间较为接近，无显著差异。但随着抗氧化剂浓度的增大，BHT 的氧化诱导时间的增大速度高于姜酚。特别是在浓度为 50 mg/kg 至 150 mg/kg 的浓度范围内 BHT 的氧化诱导时间的增大速度显著大于姜酚。这种变化使得在 100 mg/kg~250 mg/kg 的浓度范围内，姜酚与 BHT 的氧化诱导时间的差异显著。相对于姜酚与 BHT 来说，姜酚肟和 VE 在花生油中的氧化诱导时间较短。随姜酚肟的浓度增加，其在花生油中的氧化诱导时间的增加速度也最为缓慢。而 VE 的氧化诱导时间随浓度的变化速度比姜酚肟略快，但其整体的氧化诱导时间低于相同浓度下姜酚肟的氧化诱导时间。在浓度为 250 mg/kg 时，姜酚肟与 VE 的氧化诱导时间接近，无显著差异。

表 5 显示，在 50 mg/kg~250 mg/kg 的浓度范围内，随抗氧化剂浓度的递增，姜酚、姜酚肟、BHT 和 VE 在葵花籽油中的氧化诱导时间都有显著延长。其中 BHT 与姜酚在葵花籽油中的氧化诱导时间较为接近，基本没有显著差异。姜酚肟在葵花籽油中的氧化诱导时间比姜酚和 BHT 较短，比 VE 略长。在实验浓度范围内，随姜酚肟的浓度增加，其在葵花籽油中的氧化诱导时间的增加速度很快，变化较为显著。由表 4 可知，四种抗氧化剂在葵花籽油中的氧化诱导时间为：VE<姜酚肟<姜酚=BHT。

3 结论

本实验采用 4 种不同的方法对姜酚、姜酚肟的抗氧化能力进行了分析，并以 BHT、VE 作为对比。综合以上实验结果可知，这四种抗氧化剂的抗氧化能力的强弱为：BHT≥姜酚＞姜酚肟≥VE。进而可以得出结论，姜酚与姜酚肟都是性质优良的天然抗氧化剂，两者都能够有效清除不同种类的自由基，防止油脂酸败，有较强的还原能力，是较为高效的天然抗氧化剂。姜酚与姜酚肟相比较而言，姜酚的抗氧化性更为显著，但姜酚肟的化学性质较姜酚更为稳定，不易降解，且其抗油脂氧化效力明显优于 VE，因此在作为油脂抗氧化剂方面具有更加广阔的应用潜力。

参考文献

[1] 刘伟,周春丽,赵婧,等.姜酚的研究进展[J].食品研究与开发,2014,35(17):127-131
LIU Wei, ZHOU Chun-li, ZHAO Jing, et al. Research Advance in Gingerols [J]. Food Research and Development, 2014, 35(17): 127-131

[2] 曲翔,吴建中,黄雪松.测定 6-姜酚标样物质-6-姜酚肟的制取与鉴定[J].天然产物研究与开发,2009,21:445-448
QU Xiang, WU Jian-zhong, HUANG Xue-song. Preparation and Identification of 6-Gingerol Oxime [J]. National Product Research, 2009, 21: 445-448

[3] 曲翔,卢晓旭,黄雪松.以 6-姜酚肟为内标测定生姜及其制品中 6-姜酚的含量[J].食品与发酵工业,2007,33(6):123-125
QU Xiang, LU Xiao-xu, HUANG Xue-song. Determination of 6-gingerol in Ginger and Its Produces by Using 6-gingerol Oxime as the Internal Standard [J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33(6): 123-125

[4] 柳乃奎,黄雪松.姜酮、脱氢姜酮、姜酚肟对两种自由基的清除作用[J].食品科学,2004,25(6):169-172
LIU Nai-kui, HUANG Xue-song. The Effects of Gingerone, Dehydrogingerone and Gingerol Oxime on the Two Kinds of Free Redicals[J]. Food Science, 2004, 25(6): 169-172

[5] Andres Moure, Jose M. Cruz, Daniel Franco, et al. Natural antioxidants from residual sources [J]. Food Chemistry, 2001, 72: 145-171

[6] Wenhui Si, Yintong Liang, Ka Ying Ma, et al. Antioxidant Activity of Capsaicinoid in Canola Oil [J]. Agriculture and Food Chemistry, 2012, 60: 6230−6234

[7] 陈地灵,吴祎,林励,等.沉香茶提取物的体外抗氧化和体内降血脂作用评价[J].现代食品科技,2013,29(6):1198-1201
CHEN Di-ling, WU Yi, LIN Li, et al. Evaluation of the in vitro Antioxidant Activity and in vivo Blood Lipid-lowering Capability of Chenxiang Tea Extracts [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(6): 1198-1201

[8] 王猛,王敏,李环宇,等.海红果酚类物质种类及其抗氧化能力的研究[J].现代食品科技,2013,29(11):2633-2637
WANG Meng, WANG Min, LI Huan-yu, et al. Malus micromalus Makino Polyphenols and Its Antioxidant Activity[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(11): 2633-2637

[9] Liu JB, Jin Y, Lin SY, et al. Purification and identification of novel antioxidant peptides from egg white protein and their antioxidant activities [J]. Food Chemistry, 2015, 175: 258-266

[10] Rohit Upadhyay, Hari Niwas Mishra. Antioxidant activity measurement of oleoresin from rosemary and sage [J]. Industrial Crops and Products, 2014, 61: 453-459

[11] Yuanqing Fu, Yan Zhang, Huiying Hu, et al. Design and straightforward synthesis of novel galloyl phytosterols with excellent antioxidant activity [J]. Food Chemistry, 2014, 163: 171-177

[12] 闫金奎,王洋,黄雪松.萃取 6-姜酚工艺条件的研究[J].食品工业科技,2008,29(6):195-196
YAN Jin-kui, WANG Yang, HUANG Xue-song. Study on the extracting technical conditions of 6-gingerol [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(6): 195-196